

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-053328
(43)Date of publication of application : 23.02.2001

(51)Int.Cl. H01L 31/10

(21)Application number : 11-223956

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 06.08.1999

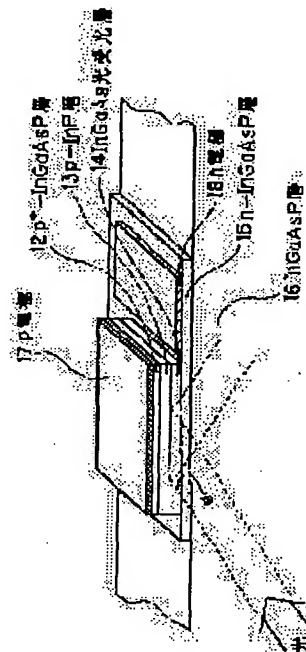
(72)Inventor : FUKANO HIDEKI
MURAMOTO YOSHIFUMI

(54) SEMICONDUCTOR PHOTODETECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve photosensitivity and operation speed of a semiconductor photodetector, while reducing the thickness of the light absorbing layer of the photodetector.

SOLUTION: A semiconductor photodetector is constituted into a multilayered semiconductor structure containing a light receiving layer 14, and light is made incident obliquely to the layer 14 in the thickness direction the layer 14. The light receiving layer 14 is sandwiched between semiconductor layer 13 and 15. The refractive index of the incidence-side semiconductor layer 15 is higher than that of the other semiconductor layer 13, having a higher refractive index than that of the light receiving layer 14. Accordingly, the light made incident to and transmitted through the light receiving layer 14 is reflected totally at the boundary between the layer 14 and the semiconductor layer 13 and is retransmitted through the layer 14. Therefore, the effective light absorbing length of the photodetector increases.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 24.10.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-53328

(P2001-53328A)

(43)公開日 平成13年2月23日(2001.2.23)

(51)Int.Cl.⁷

H01L 31/10

識別記号

F I

H01L 31/10

テームト* (参考)

A 5F049

審査請求 未請求 請求項の数6 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願平11-223956

(22)出願日 平成11年8月6日(1999.8.6)

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72)発明者 深野 秀樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(72)発明者 村本 好史

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74)代理人 100078499

弁理士 光石 俊郎 (外2名)

Fターム(参考) 5F049 MA04 MA05 MA07 MB07 NA01

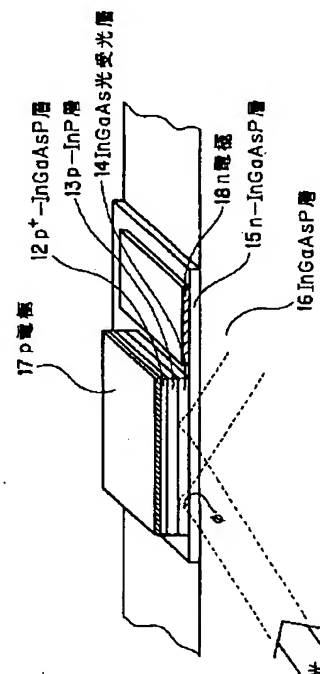
NA03 QA06 QA20 SZ16

(54)【発明の名称】 半導体受光素子

(57)【要約】

【課題】 光吸収層を薄くしながらも、高受光感度が得られ高速動作を可能とする。

【解決手段】 光受光層14を含む半導体多層構造となっており、光が層厚方向に対して斜めに入射する。光受光層14は、半導体層13、15により挟まれている。光入射側の半導体層15の屈折率は半導体層13の屈折率よりも大きく、半導体層13の屈折率は光受光層14の屈折率よりも小さくなっている。このため、光は光受光層14を透過した後、光受光層14と半導体層13との界面にて全反射して、再び光受光層14を透過する。このため実効的光吸収長が増大し、光吸収層の薄層化が実現できると共に、高受光感度が得られ高速動作が可能となる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光吸収層が前記光吸収層より小さな屈折率を有する第一の半導体層を含む上部半導体層と前記第一の半導体層より屈折率の大きい第二の半導体層を含む下部半導体層で挟まれた積層構造を有し、前記下部半導体層側から入射した入射光が、前記光吸収層を層厚方向に対し斜めに通過し、前記第一の半導体層の前記光吸収層側の界面で全反射し、前記光吸収層を再度斜めに通過することを特徴とする半導体受光素子。

【請求項2】 前記下部半導体層の少なくとも一部の側壁は、前記光吸収層の面となす角が鋭角な傾斜側壁であり、前記入射光が前記傾斜側壁で屈折して前記光吸収層に入射することを特徴とする請求項1に記載の半導体受光素子。

【請求項3】 光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした半導体受光素子において、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層が光受光層より屈折率の小さな半導体層よりなり、その部分で光が全反射するように構成されていることを特徴とする半導体受光素子。

【請求項4】 光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と端面に表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした屈折型半導体受光素子において、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層が光受光層より屈折率の小さな半導体層よりなり、その部分で光が全反射するように構成されていることを特徴とする半導体受光素子。

【請求項5】 前記光受光層に対し光入射側の半導体層が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい屈折率を有するInGaAsP半導体層で構成されていることを特徴とする請求項3または請求項4に記載の半導体受光素子。

【請求項6】 前記光受光層に対し光入射側の半導体層が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい屈折率を有するGaAs半導体層で構成されていることを特徴とする請求項3または請求項4に記載の半導体受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体受光素子に

関するものであり、薄い光吸収層でありながら高受光感度が得られ、又、超高速動作も可能となるように工夫したものである。

【0002】

【従来の技術】従来の光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした半導体受光素子を代表する屈折型半導体受光素子は、図2に示すような構造をしている。即ち、図2において、21は光入射面、22はp-InP層、23はInGaAs光受光層、24はn-InP層、25はn-InP基板、26はp電極、27はn電極である。

【0003】一般に、上層の電極26は、p型の場合のAuZnNiやn型の場合のAuGeNi等の金属を熱処理を施すことにより半導体層と合金化を図り、オーミック電極としている。合金化のため、電極26と半導体間には微小な凹凸が発生しており、屈折してきた光がここに到達しても、乱反射されたり、又、電極金属自身による光吸収もあって、電極部分での光の反射率は小さい。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従って、屈折型半導体受光素子の特徴である屈折光が層厚方向に対し斜めに通過することによる実効吸収長の増大によって受光層厚の低減が図れるものの、十分大きな受光感度を得るためには、受光層23への屈折光の1回の通過で、光が十分吸収されるようにする必要がある。従って、受光層厚の薄層化には、このことによる制限があった。又、このため、受光層23を走行するキャリアの走行時間が半導体受光素子の応答速度の制限要因となって超高速でありかつ高受光感度の素子を製作することができないという問題点があった。

【0005】本発明の目的は、光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした半導体受光素子において、薄い光吸収層でありながら高受光感度が得られ、又、超高速動作も可能となる半導体受光素子を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明の構成は、光吸収層が前記光吸収層より小さな屈折率を有する第一の半導体層を含む上部半導体層と前記第一の半導体層より屈折率の大きい第二の半導体層を含む下部半導体層で挟まれた積層構造を有し、前記下部半導体層側から入射した入射光が、前記光吸収層を層厚方向に対し斜めに通過し、前記第一の半導体層の前記光吸収層側の界面で全反射し、前記光吸収層を再度斜めに通過することを特徴とする。

【0007】また本発明の構成は、下部半導体層の少なくとも一部の側壁は、光吸収層の面となす角が鋭角な傾斜側壁であり、入射光が傾斜側壁で屈折して光吸収層に入射することを特徴とする。

【0008】また本発明の構成は、光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした半導体受光素子において、光受光層に対し光入射側の半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が光受光層より屈折率の小さな半導体層よりなり、その部分で光が全反射するように構成されていることを特徴とする。

【0009】このため、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層で光が完全に全反射されることにより光が再度光受光層を通過することになり、光吸収効率が増大する。従来技術では、光受光層の上層における屈折した入射光の主たる到達領域が合金化した電極で構成されており、この領域での反射が小さいが、本発明では、光受光層に対し光入射側の半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に接する光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が、この部分で光が全反射するような光受光層より屈折率の小さな半導体層で構成されていることにより、上層の電極部分まで光が行くことがなく、光受光層の上側界面において光が全反射する点が異なる。

【0010】また本発明の構成は、光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と端面に表面側から離れるに従い内側に傾斜した光入射端面を設けることにより、該光入射端面で入射光を屈折させて、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした屈折型半導体受光素子において、光受光層に対し光入射側の半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が光受光層より屈折率の小さな半導体層よりなり、その部分で光が全反射するように構成されていることを特徴とする。

【0011】このため、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層で光が完全に全反射されることにより光が再度光受光層を通過することになり、光吸収効率が増大する。従来技術では、光受光層の上層における屈折した入射光の主たる到達領域が合金化した電極で構成されており、この領域での反射が小さいが、本発明では、光受光層に対し光入射側の半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光層に接する光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が、この部分で光が全反射するような光受光層より屈折率の小さな半導体層で構成されていることにより、上層の電極部分まで光が行くことがなく、光受光層の上側界面において光が全反射する点が異なる。

【0012】また本発明の構成は、光受光層に対し光入

射側の半導体層が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい屈折率を有するInGaAsP半導体層で構成されていることを特徴とする。

【0013】このため、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層で光が完全に全反射されることにより光が再度光受光層を通過することになり、光吸収効率が増大する。従来技術では、光受光層の上層における屈折した入射光の主たる到達領域が合金化した電極で構成されており、この領域での反射が小さいが、本発明では、光受光層に接する光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が、この部分で光が全反射するような光受光層より屈折率の小さな半導体層で構成されており、上層の電極部分まで光が行くことがなく、光受光層の上側界面において光が全反射する点が異なる。

【0014】また本発明の構成は、光受光層に対し光入射側の半導体層が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい屈折率を有するGaAs半導体層で構成されていることを特徴とする。

【0015】このため、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層で光が完全に全反射されることにより光が再度光受光層を通過することになり、光吸収効率が増大する。従来技術では、光受光層の上層における屈折した入射光の主たる到達領域が合金化した電極で構成されており、この領域での反射が小さいが、本発明では、光受光層に接する光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が、この部分で光が全反射するような光受光層より屈折率の小さな半導体層で構成されており、上層の電極部分まで光が行くことがなく、光受光層の上側界面において光が全反射する点が異なる。

【0016】〔作用〕このように、本素子は、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層が、その部分で光が全反射するような光受光層より屈折率の小さな半導体層により構成されている。このため、受光層を光が2回通過することになり実効的光吸収長が2倍に増大する。このため、高い受光感度を得るための光吸収層厚の大幅な薄層化が可能となる。光吸収層厚の大幅な薄層化により、高受光感度を維持しながら、素子の超高速動作が可能となる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施の形態を図面に基づき詳細に説明する。

【0018】〔実施例1〕図1は本発明の第1の実施例を説明する断面斜視図である。12は0.2 μ m厚p⁺-InGaAsP (1.2 μ m組成)層、13は1.5 μ m厚p-InP層、14は0.4 μ m厚InGaAs光受光層、15は1 μ m厚n-InGaAsP (1.4 μ m組成)層、16はInGaAsP (1.4 μ m組成)層、17はp電極、18はn電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0019】素子の受光層面積は30 μ m \times 50 μ mで

ある。波長 $1.55\mu\text{m}$ 光は、光受光層14に対し、 70° の入射角で入射するようにしている。なお、15、14、13層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例の他に、光受光層14の片側もしくは両側の界面に薄い半導体層が入っていてもよい。

【0020】ここで、15、14、13層のそれぞれの屈折率3.439、3.59、3.17を考慮すると、この時、InGaAs光受光層14を光は通過角 $\phi = 25.8^\circ$ で通過する。光は光受光層14に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層14より屈折率の小さなInP半導体層13により構成されているため、全反射の条件($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$)；ただし、 n_1 は光受光層14の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層13の屈折率)を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0021】これにより、100%の反射光が再度吸収層14を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス1.0Vで受光感度0.8A/W以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極17の状態などに反射率や光の位相が左右されないの、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、p電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、0.6A/W程度しか得られなかった。

【0022】この実施例では、光受光層14に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層14より屈折率の小さなInP半導体層13を用いているが、光受光層14の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、InGaAsPやInGaAlAs等、なんでもよい。また、この実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば様々な波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0023】この実施例では、表面側のp-InP層13は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープInP層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電形を、Znの拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0024】また、半導体受光素子部分は、第1導電形を有する半導体層上であって、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介在した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)

とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0025】また、この実施例は、下側にn-InGaAsP層15を用い、上側をp-InP層13としているが、上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。

【0026】また、ここでは、受光層14として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0027】〔実施例2〕図3は本発明の第2の実施例を説明する断面斜視図である。31は光入射面、32は $0.2\mu\text{m}$ 厚p-InGaAsP ($1.2\mu\text{m}$ 組成)層、33は $1.5\mu\text{m}$ 厚p-InP層、34は $0.4\mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、35は $1\mu\text{m}$ 厚n-InGaAsP ($1.45\mu\text{m}$ 組成)層、36はInGaAsP ($1.45\mu\text{m}$ 組成)層、37は半絶縁性InP基板、38はp電極、39はn電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0028】素子の受光層面積は $30\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ である。光入射面31は、表面に対し 60° の逆メサ形状で形成した。逆メサ部の形成は各種のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成してもよいし、結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成してもよい。入射面31には無反射膜を形成している。なお、35、34、33層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例の他に、光受光層の片側もしくは両側の界面に薄い半導体層が入っていてもよい。

【0029】ここで、35、34、33層のそれぞれの屈折率3.464、3.59、3.17を考慮すると、波長 $1.55\mu\text{m}$ 光は、光受光層34に対し、 68.3° の入射角で入射するようになる。この時、InGaAs光受光層34を光は通過角 $\phi = 26.3^\circ$ で通過する。光は光受光層34に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層34より屈折率の小さなInP半導体層33により構成されているため、全反射の条件($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$)；ただし、 n_1 は光受光層34の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層33の屈折率)を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0030】シングルモードファイバにより光を導入し、全反射により、100%の反射光が再度吸収層34

を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス1.0 Vで受光感度0.8 A/W以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極38の状態などに反射率や光の位相が左右されないで、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、p電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、0.6 A/W程度しか得られなかった。また、シングルモードファイバの代わりに、先球ファイバを用い、素子の微小化(受光面積を $7\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$)を図ったもので、受光感度を高く保ちながら、3dB帯域50 GHzの超高速動作が可能であった。

【0031】この実施例では、光受光層34に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層34より屈折率の小さなInP半導体層33を用いているが、光受光層34の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、InGaAsPやInGaAlAs等、なんでも良い。また、この実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば色々な波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0032】この実施例では、表面側のp-InP層33は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープInP層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電形を、Znの拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0033】また、半導体受光素子部分は、第1導電形を有する半導体層上において、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介在した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0034】また、この実施例は、基板として半絶縁性InP 37を用い、基板側にn-InGaAsP層35を用いた例であるが、p-InGaAs層を用いても上記のpとnを逆にしても同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。

【0035】また、ここでは、受光層34として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもな

い。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0036】〔実施例3〕図4は本発明の第3の実施例を説明する断面斜視図である。42は $0.2\mu\text{m}$ 厚p⁺-InGaAsP ($1.2\mu\text{m}$ 組成)層、43は $1.5\mu\text{m}$ 厚p-InP層、44は $0.4\mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、45は $1\mu\text{m}$ 厚n-InGaAsP ($1.4\mu\text{m}$ 組成)層、46は半絶縁性GaAs基板、47はp電極、48はn電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0037】素子の受光層面積は $30\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ である。波長 $1.55\mu\text{m}$ 光は、光受光層44に対し、 75° の入射角で入射するようにしている。なお、46、44、43層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例では、光受光層44の片側の界面に半導体層45が入っているが、両側や、反対側に入っているもよい。

【0038】ここで、46、45、44、43層のそれぞれの屈折率3.38、3.439、3.59、3.17を考慮すると、この時、InGaAs光受光層44を光は通過角 $\phi = 24.57^\circ$ で通過する。光は光受光層44に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層44より屈折率の小さなInP半導体層43により構成されているため、全反射の条件($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$)；ただし、 n_1 は光受光層44の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層43の屈折率)を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0039】シングルモードファイバにより光を導入し、全反射により、100%の反射光が再度吸収層44を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス1.0 Vで受光感度0.8 A/W以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極47の状態などに反射率や光の位相が左右されないで、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、p電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、0.6 A/W程度しか得られなかった。また、シングルモードファイバの代わりに、先球ファイバを用い、素子の微小化(受光面積を $7\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$)を図ったもので、受光感度を高く保ちながら、3dB帯域50 GHzの超高速動作が可能であった。

【0040】この実施例では、光受光層44に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層44より屈折率の小さなInP半導体層43を用いているが、光受光層44の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、InGaAsPやInGaAlAs等、なんでも良い。また、この実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば色々な

波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0041】この実施例では、表面側のp-InP層43は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープInP層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電形を、Znの拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0042】また、半導体受光素子部分は、第1導電形を有する半導体層上にあつて、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介在した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0043】また、この実施例は、基板として半絶縁性GaAs46を用い、基板側にn-InGaAsP層45を用いた例であるが、p-InGaAsP層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-GaAsやp-GaAs基板を用いても同様に製作可能である。

【0044】また、ここでは、受光層44として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0045】〔実施例4〕図5は本発明の第4の実施例を説明する断面斜視図である。51は光入射面、52は $0.2\mu\text{m}$ 厚p⁺-InGaAsP ($1.2\mu\text{m}$ 組成)層、53は $1.5\mu\text{m}$ 厚p-InP層、54は $0.5\mu\text{m}$ 厚InGaAs光受光層、55は $1\mu\text{m}$ 厚n-InGaAsP ($1.4\mu\text{m}$ 組成)層、56は半絶縁性GaAs基板、57はp電極、58はn電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0046】素子の受光層面積は $30\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ である。光入射面51は、表面に対し 60° の逆メサ形状で形成した。逆メサ部の形成は各種のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成してもよいし、結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成してもよい。入射面51には無反射膜を形成している。また、本実施例では、光入射端面

部分は屈折率1.5のエポキシを充填している。

【0047】なお、56、54、53層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例では、光受光層54の片側の界面に半導体層55が入っているが、両側や、反対側に入っていてもよい。

【0048】ここで、56、55、54、53層のそれぞれの屈折率3.38、3.439、3.59、3.17を考慮すると、この時、InGaAs光受光層54を光は通過角 $\phi = 25.88^\circ$ で通過する。光は光受光層54に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層54より屈折率の小さなInP半導体層53により構成されているため、全反射の条件 ($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$) ; ただし、 n_1 は光受光層54の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層53の屈折率) を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0049】シングルモードファイバにより光を導入し、全反射により、100%の反射光が再度吸収層54を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス1.0Vで受光感度 0.8A/W 以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極57の状態などに反射率や光の位相が左右されないで、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、p電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、 0.6A/W 程度しか得られなかった。また、シングルモードファイバの代わりに、先球ファイバを用い、素子の微小化 (受光面積を $7\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$) を図つたもので、受光感度を高く保ちながら、3dB帯域50GHzの超高速動作が可能であった。

【0050】この実施例では、光受光層54に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層54より屈折率の小さなInP半導体層53を用いているが、光受光層54の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、InGaAsPやInGaAlAs等、なんでもよい。また、この実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば色々な波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0051】この実施例では、表面側のp-InP層53は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープInP層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電形を、Znの拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0052】また、半導体受光素子部分は、第1導電形を有する半導体層上にあつて、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極

に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0053】また、この実施例は、基板として半絶縁性GaAs56を用い、基板側にn-InGaAsP層55を用いた例であるが、p-InP層を用いても上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-GaAsやp-GaAs基板を用いても同様に製作可能である。

【0054】また、ここでは、受光層54として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0055】〔実施例5〕図6は本発明の第5の実施例を説明する断面斜視図である。62は0.2 μm 厚p⁺-InGaAsP (1.2 μm 組成)層、63は1.5 μm 厚p⁺-InP層、64は0.4 μm 厚InGaAs光受光層、65は0.4 μm 厚n-InGaAsP (1.4 μm 組成)層、66は半絶縁性InP基板、67はp電極、68はn電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0056】素子の受光層面積は30 $\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$ である。波長1.55 μm 光は、光受光層64に対し、84°の入射角で入射するようにしている。なお、66、64、63層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例では、光受光層64の片側の界面に薄い半導体層65が入っているが、両側や、反対側に入っているもよい。

【0057】ここで、66、64、63層のそれぞれの屈折率3.17、3.59、3.1を考慮すると、この時、InGaAs光受光層64を光は通過角 $\phi = 28.8^\circ$ で通過する。光は光受光層64に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層64より屈折率の小さなInP半導体層63により構成されており、さらに高濃度ドーピングにより、半絶縁性のInP66に比べ屈折率が小さくなっているため、全反射の条件 ($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$) ; ただし、 n_1 は光受光層64の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層63の屈折率) を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0058】これにより、100%の反射光が再度吸収

層64を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス1.0Vで受光感度0.8A/W以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極67の状態などに反射率や光の位相が左右されないもので、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、p電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、0.6A/W程度しか得られなかった。

【0059】この実施例では、光受光層64に対し光入射側と反対側の半導体層がInGaAs光受光層64より屈折率の小さな高濃度ドーピングInP半導体層63を用いているが、光受光層64の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、AlAsSbや高濃度ドーピングInGaAsPや高濃度ドーピングInGaAlAs等なんでも良い。また、この実施例は、波長1.55 μm の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば色々な波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0060】この実施例では、表面側のp-InP層63は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープInP層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電形を、Znの拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0061】また、半導体受光素子部分は、第1導電形を有する半導体層上にあって、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) 又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$) とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$) よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0062】また、この実施例は、下側にn-InGaAsP層65を用い、上側をp-InP層63としているが、上記のpとnを逆にして同様に製作可能であり、また、n-InPやp-InP基板を用いても同様に製作可能である。

【0063】また、ここでは、受光層64として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、InGaAsP/InP系以外のInGaAlAs/InGaAsPやAlGaAs/GaAs系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0064】〔実施例6〕図7は本発明の第6の実施例を説明する断面斜視図である。71は光入射面、72は $0.2\mu\text{m}$ 厚 $p^+-\text{InGaAsP}$ ($1.2\mu\text{m}$ 組成)層、73は $1.5\mu\text{m}$ 厚 $p^+-\text{InP}$ 層、74は $0.4\mu\text{m}$ 厚 InGaAs 光受光層、75は $0.4\mu\text{m}$ 厚 $n\text{-InGaAsP}$ ($1.45\mu\text{m}$ 組成)層、76は半絶縁性 InP 基板、77は p 電極、78は n 電極である。なお、引出し電極とパッド電極は、説明図が煩雑になり、説明の妨げになるため、この図では省略している。

【0065】素子の受光層面積は $30\mu\text{m}\times 150\mu\text{m}$ である。光入射面71は、表面に対し 80° の逆メサ形状で形成した。逆メサ部の形成は各種のウェットエッチング液やドライエッチング法を用いて形成してもよいし、結晶面を利用したり、エッチングマスクの密着性を利用し角度を制御して形成してもよい。また、(001)表面に対し、 10° オフの基板を用いてPD部を製作し、劈開により 80° の入射端面を形成してもよい。入射面71には無反射膜を形成している。

【0066】なお、76、74、73層がそれぞれ、請求項中の、光受光層に対し光入射側の主たる半導体層、光受光層、光受光層に対し光入射側と反対側の主たる半導体層に対応する。この例では、光受光層74の片側の界面に薄い半導体層75が入っているが、両側や、反対側に入っているもよい。

【0067】ここで、76、74、73層のそれぞれの屈折率 3.17 、 3.59 、 3.1 を考慮すると、波長 $1.55\mu\text{m}$ 光は、光受光層74に対し、 83.14° の入射角で入射するようになる。この時、 InGaAs 光受光層74を光は通過角 $\phi=28.75^\circ$ で通過する。光は光受光層74に対し光入射側と反対側の半導体層が InGaAs 光受光層74より屈折率の小さな InP 半導体層73により構成されており、さらに高濃度ドーピングにより、半絶縁性の InP 76に比べ屈折率が小さくなっているため、全反射の条件($\phi < \cos^{-1}(n_2/n_1)$)；ただし、 n_1 は光受光層74の屈折率、 n_2 は光入射側と反対側の半導体層73の屈折率)を満足し、光はこの部分で全反射するようになる。

【0068】シングルモードファイバにより光を導入し、全反射により、 100% の反射光が再度吸収層74を通過し、吸収されることにより、印加逆バイアス 1.0V で受光感度 0.8A/W 以上の大きな値が得られた。また、光の反射が上記界面で起こるため、上層の電極77の状態などに反射率や光の位相が左右されないため、高効率化や偏波制御等を設計性よく行うことが可能となる。ちなみに、上記界面で全反射しない従来構成で、 p 電極が上面のほぼ全面に存在し、ここでの光反射効果のみを利用する場合では、 0.6A/W 程度しか得られなかった。また、シングルモードファイバの代わりに、先球ファイバを用い、素子の微小化(受光面積を $7\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$)を図ったもので、受光感度を高く保ちながら、

3dB 帯域 30GHz の超高速動作が可能であった。

【0069】この実施例では、光受光層74に対し光入射側と反対側の半導体層が InGaAs 光受光層74より屈折率の小さな高濃度ドーピング InP 半導体層73を用いているが、光受光層74の屈折率より適当に小さく、全反射の条件を満足できるものであれば、 AlAsSb や高濃度ドーピング InGaAsP や高濃度ドーピング InGaAlAs 等なんでも良い。また、この実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ の入射光に対して述べているが、全反射の条件を満足できれば色々な波長の光に対しても同様の効果が得られる。

【0070】この実施例では、表面側の $p\text{-InP}$ 層73は結晶成長によって形成しているが、結晶成長ではアンドープ InP 層とし、表面側の主たる部分の半導体の導電性を、 Zn の拡散や、イオン注入法とその後のアニールによって決定してもよい。

【0071】また、半導体受光素子部分は、第1導電性を有する半導体層上にあって、真性又は第一の導電型の半導体層、超格子半導体層または多重量子井戸半導体層より成る光受光層とショットキー電極との間に、前記光受光層と前記ショットキー電極との間のショットキー障壁よりも高いショットキー障壁を前記ショットキー電極に対して有するショットキーバリアハイトの高い半導体層を介した多層構造を基板上に構成してなる半導体受光素子や、前記ショットキーバリアハイトの高い半導体層は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$)又は、 $\text{In}_{1-x-y}\text{Ga}_x\text{Al}_y\text{As}$ ($0\leq x\leq 1$, $0\leq y\leq 1$)とその上の薄い $\text{In}_{1-u}\text{Ga}_u\text{As}_{1-v}\text{P}_v$ ($0\leq u\leq 1$, $0\leq v\leq 1$)よりなることを特徴とする半導体受光素子で構成してもよい。

【0072】また、この実施例は、基板として半絶縁性 InP 76を用い、基板側に $n\text{-InGaAsP}$ 層75を用いた例であるが、 $p\text{-InGaAs}$ 層を用いても上記の p と n を逆にしても同様に製作可能であり、また、 $n\text{-InP}$ や $p\text{-InP}$ 基板を用いても同様に製作可能である。

【0073】また、ここでは、受光層74として均一組成のバルクを用いているが、アバランシェフォトダイオードに用いられる Separate-absorption-graded-multiplication (SAGM) 構造や Separate absorption and multiplication superlattice (SAM-SL) 構造や他の超格子構造の半導体層等を用いてもよいことは言うまでもない。また、 $\text{InGaAsP}/\text{InP}$ 系以外の $\text{InGaAlAs}/\text{InGaAsP}$ や $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$ 系などの他の材料系や歪を内在するような材料系でもよいことは言うまでもない。

【0074】

【発明の効果】以上説明したように、光受光層を含む半導体多層構造よりなる受光部分と、前記光受光層を入射光が層厚方向に対し斜めに通過するようにした半導体受光素子において、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率が、光受光層に対し光入射側と反対側の半導体層の屈折率より大きい半導体層で構成されており、光受光

層に対し光入射側と反対側の半導体層が光受光層より屈折率の小さな半導体層よりなり、その部分で光が全反射するように構成されているため、受光層を100%反射光が再度通過することになり実効的光吸収長が大きく増大する。このため、高い受光感度を得るための光吸収層厚の大幅な薄層化が可能となる。また、光吸収層厚の大幅な薄層化により、高受光感度を維持しながら、超高速動作の可能な素子が製作可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を説明する断面斜視図である。

【図2】従来の屈折型半導体光受光素子を説明する図である。

【図3】本発明の第2の実施例を説明する断面斜視図である。

【図4】本発明の第3の実施例を説明する断面斜視図である。

【図5】本発明の第4の実施例を説明する断面斜視図である。

【図6】本発明の第5の実施例を説明する断面斜視図である。

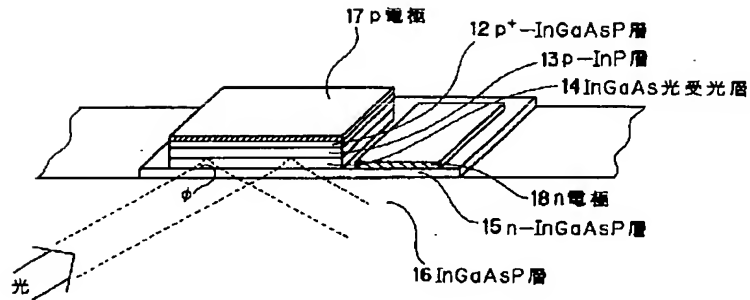
【図7】本発明の第6の実施例を説明する断面斜視図である。

【符号の説明】

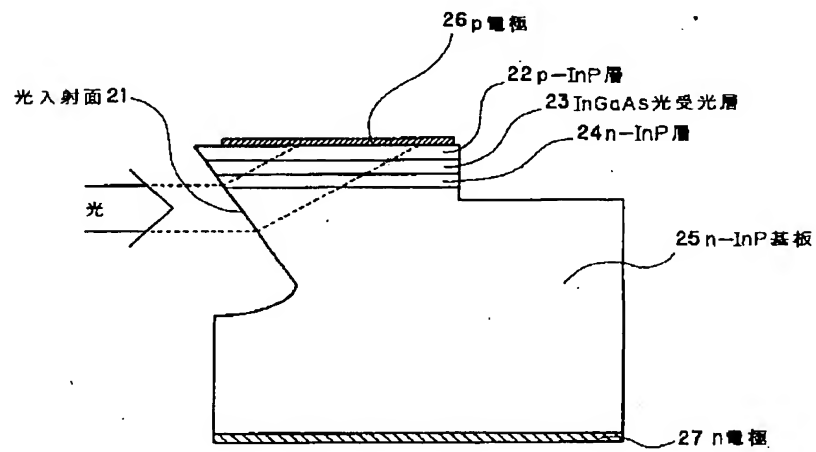
12 p⁺-InGaAsP層
13 p-InP 層
14 InGaAs光受光層
15 n-InGaAsP 層
16 InGaAsP 層
17 p 電極
18 n 電極
21 光入射面
22 p-InP 層
23 InGaAs光受光層
24 n-InP 層
25 n-InP 基板
26 p 電極
27 n 電極
31 光入射面

32 p⁺-InGaAsP層
33 p-InP 層
34 InGaAs光受光層
35 n-InGaAsP 層
36 InGaAsP 層
37 半絶縁性InP 基板
38 p 電極
39 n 電極
42 p⁺-InGaAsP層
43 p-InP 層
44 InGaAs光受光層
45 n-InGaAsP 層
46 半絶縁性GaAs基板
47 p 電極
48 n 電極
51 光入射面
52 p⁺-InGaAsP層
53 p-InP 層
54 InGaAs光受光層
55 n-InGaAsP 層
56 半絶縁性GaAs基板
57 p 電極
58 n 電極
62 p⁺-InGaAsP層
63 p⁺-InP層
64 InGaAs光受光層
65 n-InGaAsP 層
66 半絶縁性InP 基板
67 p 電極
68 n 電極
71 光入射面
72 p⁺-InGaAsP層
73 p⁺-InP層
74 InGaAs光受光層
75 n-InGaAsP 層
76 半絶縁性InP 基板
77 p 電極
78 n 電極

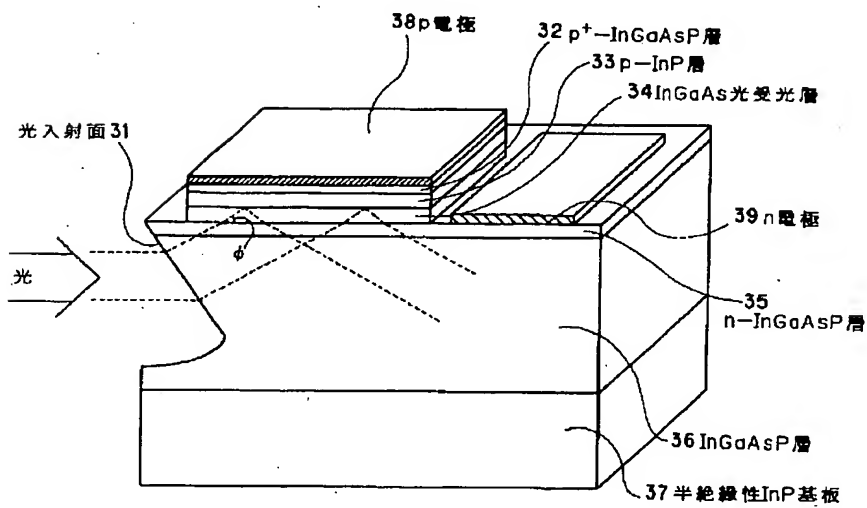
【図1】



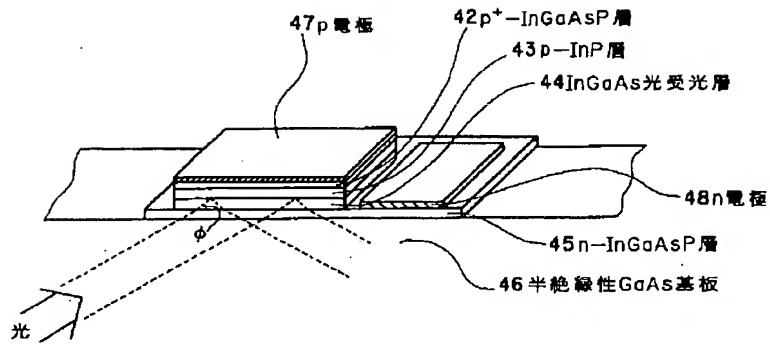
【図2】



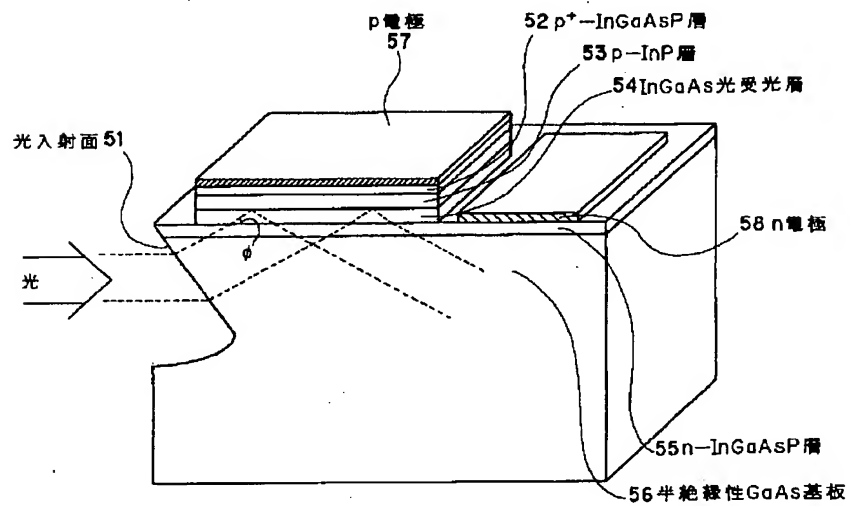
【図3】



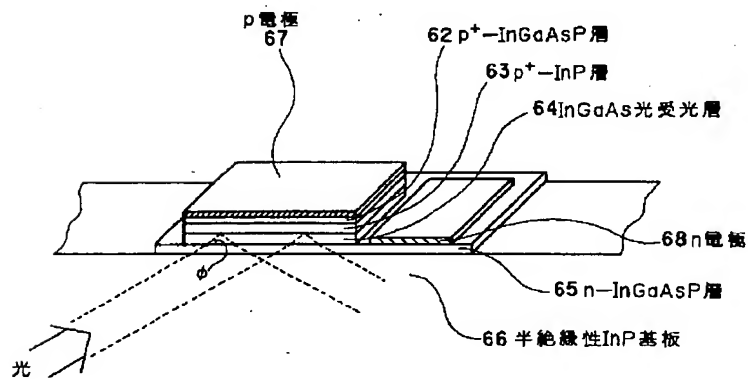
【図4】



【図5】



【図6】



【図7】

